

グラフの高精度認識に関する研究

著者	宮崎 智
号	55
学位授与機関	Tohoku University
学位授与番号	工博第4443号
URL	http://hdl.handle.net/10097/61576

氏 名 みや ざき とも
授 与 学 位 名 宮 崎 智
学 位 授 与 年 月 日 博士 (工学)
学位授与の根拠法規 平成23年3月25日
学位規則第4条第1項
研究科, 専攻の名称 東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 電気・通信工学専攻
学 位 論 文 題 目 グラフの高精度認識に関する研究
指 導 教 員 東北大学教授 大町 真一郎
論 文 審 査 委 員 主査 東北大学教授 大町 真一郎 東北大学教授 伊藤 彰則
東北大学教授 篠原 歩

論 文 内 容 要 旨

グラフはある存在の集合とそれらを接続する集合により定義され, 幅広い分野のアプリケーションにおいて, 物体や対象となる概念の関係性をグラフにより表現することができる. ソフトウェア工学の分野においては, システムの構成要素の独立性や相互関係を視覚化するために用いられる. 関係データベースにおいては, データは複数のデータと関係を持つ. 意思決定プロセスであるフローチャートやダイアグラムといった概念もグラフを用いて表現することができる. 特にパターン認識やコンピュータービジョンの分野において, グラフを用いたアプリケーションの有用性が注目されている. 様々なアプリケーションにおいて, パターンを識別することは重要なタスクである. しかしながら, 一般的なパターン認識手法をそのままグラフに対して適用することは困難であるため, グラフのパターン認識は未だ発展の途上にある. これまで, グラフ認識に対して, グラフ間の距離を求める手法やクラスを表すモデルを学習する手法などが提案されているが, いまだ高精度な認性能な手法が得られていない. そこで, 本論文はクラスを表すグラフや確率モデルを学習する手法を提案し, それらを用いてグラフを高精度に認識する識別器を構築することができることを示した.

第2章ではグラフの基本的な定義と概念について述べ, グラフを用いてシルエット画像を認識する手法を提案した. シルエット画像は物体の基本的なカテゴリを表し, 物体の基本レベルにおけるパターン認識に有用である. 基本レベルにおける認識とは, シルエット画像を認識することを物体認識の第一段階とすること捉えることである. 物体のシルエット画像を正しく認識することができれば, さらに詳細で的確な認識を行うことが可能となる. 提案手法はシルエット画像をグラフとして扱った. シルエット画像を中心軸に変換し, 端点と交点をグラフの頂点とし, 線分を辺とした. また, シルエット画像の領域をグラフの辺に割り当てることにより, シルエットの構造をおおまかに表現するグラフを得ることができた. シルエットから得られるグラフはそれぞれ異なるため, クラスを代表するグラフを, 学習データに共通するスーパーグラフのうち頂点数が最小のグラフをクラスの代表グ

ラフとした。シルエット画像とクラスとの距離を、シルエット画像のグラフとクラスを表すグラフとの距離とし、認識を行った。MPEG7 CE-Shape-1に含まれるシルエット画像に対して提案手法を適用して認識実験を行った結果、80.5%の認識率となることがわかった。また、シルエット画像のグラフと学習データのグラフと一対比較を行い、最小距離をシルエット画像とクラスとの距離とする手法と提案手法を比較した結果、提案手法は比較手法よりおよそ 8%程度、認識率が上回っていることを確認した。この比較実験からグラフのパターン認識において、学習データからクラスを代表するグラフを抽出して、グラフとクラスとの距離を計測する手法は、個々の学習データを用いてクラスとグラフの距離を計測する手法よりよい認識率が期待できることがわかった。

学習データを代表するグラフを用いたグラフの認識は有効な手法で、代表のグラフは認識性能に大きな影響を与えることから、第 3 章では認識性能の高い代表のグラフを構築する手法を提案した。クラスを代表するグラフが有すべき特性を次のように定めた。

- 代表グラフは学習データすべてのグラフ構造を有する。
- 代表グラフの頂点 (辺) は類似する属性を持つ学習データの頂点 (辺) と対応する。
- 代表グラフの頂点 (辺) は重みを有し、重みはクラスにおける重要な頂点 (辺) を表す指標となる。

学習データすべてのグラフ構造を有するグラフは、グラフ統合 (Graph union) により求めることができるが、統合されたグラフは学習データと等しく冗長なものとなる。そこで、類似する属性の頂点 (辺) をひとつの頂点 (辺) とみなし、グラフの統合を行った。ひとつの頂点 (辺) とみなされた頂点 (辺) の個数を重みとした。属性とは頂点や辺に付与された情報である。また、ひとつの頂点とする学習データの頂点を選択する決定式を、頂点の属性と頂点の次数、頂点間の接続関係により求めた。辺の統合については、辺の端点が類似するなら統合した。提案手法を評価するため、グラフにおけるパターン認識・学習手法を評価する標準的なデータベースである IAM Graph Database のグラフに対して、代表グラフを抽出し、代表グラフとグラフとの距離によりグラフを認識する実験を行った。提案手法はおよそ 84%の認識率を得た。代表グラフを求める従来手法と提案手法を、認識率と代表グラフを計算する時間について比較実験を行った結果、提案手法の認識率は従来手法に比べて約 9%程度優れていることがわかった。また計算時間について、提案手法は従来手法に比べて 25 倍高速であることがわかった。

これまでクラスを代表するグラフをクラスのテンプレートとして認識に用いた。代表グラフのデータ構造は学習データのデータ構造と同じであることから、代表グラフはクラスの情報に記述することが困難であったと考えた。そこで、第 4 章ではクラスを確率モデルにより記述し、グラフが確率モデルから生成される確率を求めるアルゴリズムを提案した。確率モデルが有する特徴を以下のように定めた。

- 確率モデルは学習データすべてのグラフを生成する。
- 確率モデルの頂点と辺はそれぞれ観測される確率を有し、確率はクラスにおいて観測される確率を示す。

- 確率モデルの頂点と辺はとりうる属性値の確率分布を有する。

つまり確率モデルはグラフ構造と統計パラメータにより構成される。確率モデルのグラフ構造を頂点集合と辺集合から構成し、学習データのすべてのグラフの頂点集合と、確率モデルの頂点集合との間には対応関係が存在する。辺集合についても対応関係が存在する。提案手法は確率モデルのグラフ構造を抽出するアルゴリズムを提案した。また、確率モデルの統計パラメータは学習データとの対応関係により求めた。確率モデルからグラフが生成される確率を次のように計算した。

- グラフのある頂点と辺が確率モデルから生成される確率は、観測される確率と属性値をとる確率の積により求めた。
- グラフが確率モデルから生成される確率は、グラフの頂点と辺が確率モデルから生成される確率の総乗により求めた。

IAM Graph Database に対して提案手法を適用し確率モデルを抽出し、グラフが生成される確率の高いクラスへと認識する実験を行った結果、確率モデルを用いて 88% の認識率を得た。また学習データの個数によって確率モデルの認識性能が変化することを確認した。つまり学習データの選び方により一部のデータに有効な確率モデルを求めることができることが明らかとなった。このことは、性能の異なる確率モデルを集めて高性能な識別器を構成することができる可能性を示していた。そこで、ランダムに選んだ学習データから求めた確率モデルを集めて、ブースティングの代表的な手法である AdaBoost アルゴリズムの枠組みによりグラフを高精度に認識する識別器を得る手法を提案した。IAM Graph Database に対して提案手法により識別器を求め、認識する実験を行った。提案手法により得られた識別器の認識率は 97.5% であった。第 3 章と第 4 章で提案した代表グラフと確率モデルを用いた認識手法と比較して 5% から 12% ほど認識率の向上したことがわかった。以上によりグラフを高精度に認識することができることを示した。

論文審査結果の要旨

グラフは対象の関係性を簡潔に記述することができるため、パターン認識やコンピュータービジョンの分野において、グラフを用いたアプリケーションの有用性が注目されている。特にグラフを用いてパターンを認識することは重要なタスクである。しかし、一般的なパターン認識の手法をそのままグラフに対して適用することは困難であり、グラフを対象としたパターン認識は未だ発展途上の段階にある。著者はグラフを対象としたパターン認識の高精度化に関わる諸問題について研究を行ない、高精度なグラフ認識手法を提案し、実験を通してその有効性を確認した。本論文はその成果をまとめたもので、全編5章からなる。

第1章は序論である。

第2章では、グラフの基本的な定義と概念及びグラフ間の距離を求める手法について述べ、グラフを用いてシルエット画像を認識する手法を提案している。提案手法では、シルエット画像から抽出したグラフと認識対象カテゴリの学習データを代表するグラフ（代表グラフ）を用いて、シルエット画像と各カテゴリの距離を求めることで認識を行なう。提案手法により学習データを個々に用いてカテゴリとの距離を求める従来手法と比較して8%程度の認識率向上を達成できることを確認した。また、この結果から、グラフ認識において代表グラフを用いることの有効性を指摘している。これはグラフ認識における有用な知見である。

第3章では、グラフの集合が与えられたとき同じ特徴を有する頂点を統合していくことで、学習データの代表グラフを抽出する手法を提案している。提案手法では、グラフに与えられた属性値を用いて頂点と辺の重要度を定義し、これらの値をもとに学習データのグラフ集合における特徴的な頂点を検出する。提案手法の有効性の確認のために、提案手法を用いて代表グラフを求め、未知のグラフと各カテゴリの代表グラフとの距離によりグラフを認識する実験を行なった。文字を表わすグラフを対象とし、変形の程度の異なるデータセットに対して79%から94%の認識率が得られ、従来手法と比較して0.2%から15%程度認識率が向上することを確認した。計算時間の面では、提案手法は従来手法と比較して9倍から42倍高速に代表グラフを求めることができることを確認した。これは従来手法を速度・精度の両面で上回る手法を与えたもので、高く評価できる。

第4章では、グラフの集合を記述する確率モデルを提案している。確率モデルはグラフの頂点と辺、頂点と辺が観測される確率、及び頂点と辺がとりうる属性値の確率から構成される。著者は、まずこれらの確率分布を学習データから推定する手法を提案している。さらに、あるグラフが確率モデルから観測される確率を用いてグラフ間の距離を求めることでグラフの認識を行なう手法を提案している。提案手法を用いて認識実験を行った結果、第3章の実験で用いたデータセットに対して84%から94%の認識率が得られることを確認した。また、認識性能が異なる確率モデルに対して機械学習の手法を適用することでさらに高精度なグラフ認識を実現する手法を提案している。前述のデータセットに対する実験の結果、96%から99%と極めて高い認識率が得られることを確認した。これは新しい観点からグラフを高精度に認識できる手法を与えたものであり、重要な成果である。

第5章は結論である。

以上要するに本論文は、グラフを用いたパターン認識の高精度化に関わる諸問題を検討し、カテゴリを代表するパターンや確率モデルを用いた認識手法を提案し、グラフ認識の高精度化を実現したもので、電気・通信工学及び情報工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。